

Geocronologia e Evolução Crustal da Área do Depósito de Cu-Au Gameleira, Província Mineral de Carajás (Pará), Brasil

Marco Antonio Galarza & Moacir José Buenano Macambira
Laboratório de Geologia Isotópica - Pará-Iso - Centro de Geociências - UFPA
Caixa Postal 1.611, CEP 66075-110, Belém, PA, BRA

Palavras-chave: Isótopos de Pb e Nd, Evolução Crustal, Arqueano, Depósito de Cu-Au Gameleira, Província Carajás.

RESUMO

O depósito de Cu-Au Gameleira está hospedado nas rochas do Grupo Igarapé Pojuca, pertencente ao Supergrupo Itacaiúnas, Província Mineral de Carajás, SE do Cráton Amazônico. Esse grupo está representado principalmente por rochas metavulcânicas máficas (RMV), anfíbolitos, biotita xistos, formações ferríferas e/ou hidrotermalitos, cortadas por rochas intrusivas máficas (RIM), bem como por granitos arqueanos (2,56 Ga, Granito Deformado Itacaiúnas) e paleoproterozóicos (1,87 - 1,58 Ga, Granito Pojuca e Leucogranito do Gameleira). Cristais de zircão de um saprolito (2615 ± 10 Ma e 2683 ± 7 Ma) e de uma amostra de RIM (2705 ± 2 Ma), mostraram ser contemporâneos aos dos gabros do depósito Águas Claras. Datações Pb-Pb em rocha total e calcopirita de RMV indicaram idades de 2245 ± 29 Ma e 2419 ± 12 Ma, respectivamente, enquanto lixiviados de calcopirita indicaram idades de 2217 ± 19 Ma e 2180 ± 84 Ma. Essas idades são interpretadas como rejuvenescimento parcial provocado pelas intrusões graníticas proterozóicas (1,58 e 1,87 Ga) ou pelas reativações tectônicas associadas aos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, ou total, provocada pelas últimas. As idades-modelo T_{DM} de 3,12 e 3,33 Ga para as RMV e RIM e os valores de $\epsilon_{Nd}(t)$ de -0,89 a -3,26 sugerem contribuição continental de rochas mais antigas e magmas gerados possivelmente em um ambiente de rifte continental ou de margem continental ativa.

Keywords: Pb and Nd isotopes, Crustal evolution, Archean, Gameleira Cu-Au ore deposit, Carajás Province.

ABSTRACT

The Gameleira Cu-Au deposit is hosted by rocks of the Igarapé Pojuca Group, Itacaiúnas Supergroup, Carajás Mineral Province, southeastern Amazonian Craton. This group is represented mainly by mafic metavolcanic rocks (MVR), amphibolite, biotite schist, banded iron formation and/or hydrothermalite and cut by intrusive mafic rocks (IMR) as well as by deformed Itacaiúnas granites of Archean age (2.56 Ga) and Pojuca and Gameleira granites of Proterozoic age (1.87 and 1.58 Ga). Zircon crystals from a saprolite (2615 ± 10 Ma and 2683 ± 7 Ma) and from an IMR sample (2705 ± 2 Ma) are coeval with those from gabbros of the neighboring Águas Claras deposit. Pb-Pb dating of whole rock samples and chalcopirite from the MVR indicated ages of 2245 ± 29 Ma and 2419 ± 12 Ma, respectively, while leached chalcopirite yielded ages of 2217 ± 19 Ma and 2180 ± 84 Ma. These ages are interpreted as due to partial resetting provoked by the Proterozoic granitic intrusions or by tectonic reactivation along the Carajás and Cinzento strike slip systems or alternatively, as due to total resetting provoked by the last one. The T_{DM} ages between 3.12 and 3.33 Ga for the MVR and IMR, and the initial $\epsilon_{Nd}(t)$ values of -0.89 to -3.26 suggest continental contribution from older crustal material and possibly magma generation in a continental rift or active continental margin environment.

INTRODUÇÃO

O depósito de Cu-Au do Gameleira está localizado na Província Mineral de Carajás, sudeste do Estado do Pará, a aproximadamente 25 km do Núcleo Urbano do Carajás (Fig. 1). Esse depósito hospeda-se no Grupo Igarapé Pojuca, unidade inferior do Supergrupo Itacaiúnas (Docegeo, 1988). O depósito Gameleira corresponde à extensão leste do depósito de Cu-Zn do Igarapé Pojuca, onde a sequência vulcanossedimentar é composta por anfíbolitos, quartzitos, biotita xistos, metavulcânicas máficas e formações ferríferas (Docegeo, 1988) e/ou hidrotermalitos (Lindenmayer *et al.*, 2001a). O ambiente tectônico das sequências vulcanossedimentares arqueanas da região de Carajás é ainda matéria de debate cujos modelos propostos incluem: rifte continental (p. ex. Gibbs *et al.*, 1986; Olszewski *et al.*, 1989; Lindenmayer *et al.*, 1995), similar à bacia intracratônica dos grupos Fortescue e Hamersley, Austrália Ocidental (Machado *et al.*, 1991); rifte relacionado a um processo de subducção para o Grupo Grão Pará (Dardenne *et al.*, 1988); e um processo de placas em convergência oblíqua para a bacia transtensional de Carajás (Teixeira & Eggler, 1994). Modelos genéticos propostos para o depósito Igarapé Pojuca o relacionam àqueles do tipo VMS (Hutchinson, 1979) ou de origem vulcano-exalativa (Saueressig, 1988; Medeiros & Villas, 1985). Já Winter (1994) sugere uma origem epigenética, posterior ao evento metamórfico arqueano regional e associada ao metassomatismo ligado ao Granito Deformado Itacaiúnas (2,56 Ga, Souza *et al.*, 1996), enquanto que Lindenmayer *et al.* (2000, 2001b) sugerem uma mineralização relacionada com intrusões graníticas paleoproterozóicas.

Este estudo apresenta novos resultados geocronológicos (evaporação em zircão, Pb-Pb com dissolução total e lixiviação, e Sm-Nd em rocha total) de rochas metavulcânicas, intrusivas máficas e minério do depósito Cu-Au do Gameleira. O objetivo principal é subsidiar discussões sobre a idade e origem dessas rochas e da mineralização primária e/ou remobilizada do depósito, bem como da formação e evolução da crosta continental da região.

GEOLOGIA REGIONAL

A Província Mineral de Carajás (PMC), situada na parte sudeste do Cráton Amazônico, é considerada a principal província mineral do Brasil e engloba importantes de-

pósitos de Fe, Au, Cu, Mn e outros metais, representando uma das maiores concentrações de minérios do planeta. A Fig. 1 apresenta o arcabouço litoestratigráfico e geocronológico da parte norte da PMC e a localização do depósito de Cu-Au do Gameleira, área do presente estudo. A PMC foi gerada, reativada e tectonicamente estabilizada no Arqueano e somente no Paleoproterozóico foi afetada por um evento extensivo acompanhado por intrusões graníticas anorogênicas e diques associados (p. ex. Macambira & Lafon, 1995). A PMC é dividida nos segmentos crustais conhecidos como os Terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria (Huhn *et al.*, 1988), ao sul, e o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (Araújo *et al.*, 1988), ao norte. Na região de Rio Maria, os terrenos granito-greenstone abrangem uma grande área, constituída pelo Supergrupo Andorinhas e o Tonalito Arco Verde (2,97 - 2,90 Ga; Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lancelot 1996) e intrudida por uma série de granitóides de idade em torno de 2,87 Ga (Pimentel & Machado, 1994; Macambira & Lancelot, 1996; Leite, 2001).

Na região da Serra dos Carajás, o embasamento do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas é constituído pelos complexos gnáissicos Xingu e granulíticos Pium (2,86 - 3,00 Ga; Machado *et al.*, 1991; Avelar *et al.*, 1999; Pidgeon *et al.*, 2000). Na área afloram abundantes rochas metavulcano-sedimentares que subrejazem as rochas do embasamento constituindo os grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Grão Pará, Igarapé Bahia, entre outros, englobados no Supergrupo Itacaiúnas (Docegeo, 1988) de idade em torno de 2,76 Ga (Wirth *et al.*, 1986; Machado *et al.*, 1991; Macambira *et al.*, 1996; Trendall *et al.*, 1998, Galarza & Macambira, 2002). Nesse supergrupo, o magmatismo máfico a intermediário é dominante e todas as unidades litoestratigráficas parecem ser contemporâneas, mostrando diferentes graus de deformação, metamorfismo e alteração hidrotermal. Na região de Carajás, extensas sequências de plataforma, conhecida como Formação Águas Claras (Araújo *et al.*, 1988) e compostas principalmente por rochas arqueanas sedimentares de ambientes litorâneos a fluviais (Nogueira *et al.*, 1995), recobrem o Supergrupo Itacaiúnas. Vários corpos graníticos deformados, alongados e lenticulares de direção E-W, incluídos na Suíte Plaqué (2,73 Ga, Avelar *et al.*, 1999), intrudem as rochas do Complexo Xingu. Outras intrusões neoarqueanas incluem o Complexo máfico-ultramáfico Luanga (2,76 Ga, Machado *et al.*, 1991), diques e sills máficos (2,65 - 2,70 Ga; Dias *et al.*, 1996; Mougeot *et al.*, 1996), e granitos como o Estrela (2,76 Ga, Barros *et al.*, 2001), Old Salobo e Deformado Itacaiúnas (2,57 - 2,56 Ga, Machado *et al.*, 1991; Souza *et al.*, 1996).

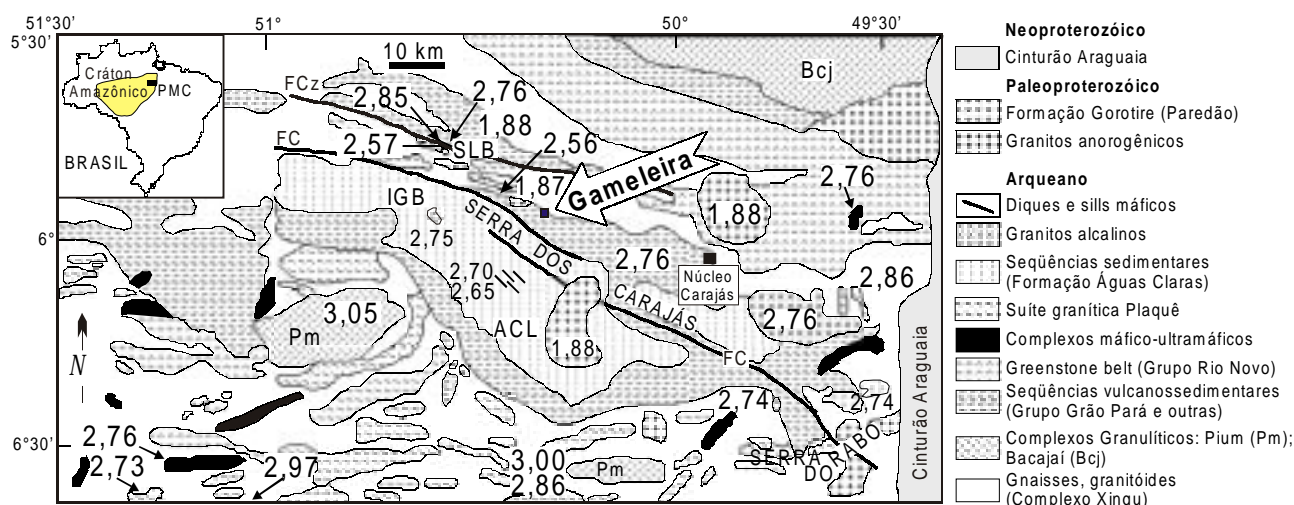


Figura 1. Mapa geológico simplificado da parte norte da Província Mineral de Carajás, modificado de Costa *et al.* (1995) e Faraco *et al.* (1996) com a localização do depósito Gameleira. As idades são apresentadas em Ga. IGB = Depósito Igarapé Bahia, SLB = Depósito Salobo, ACL = Depósito Águas Claras. FC = Falha Carajás, FCz = Falha Cinzento.

Granitos anorogênicos de idades de *ca.* 1,89 Ga (Wirth *et al.*, 1986; Machado *et al.*, 1991) de composição sienita monzogranítica dominante (Dall'Agnol *et al.*, 1994) cortam as unidades mais antigas. Destacando-se no Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas os granitos Pojuca, Salobo, Cigano e Central de Carajás, este último interceptando a Falha Carajás de direção geral NW-SE.

Segundo Pinheiro & Holdsworth (1997, 2000), a evolução tectonoestratigráfica da região de Carajás envolveu um certo número de feições importantes concernentes à reativação dos terrenos do embasamento arqueano. Esses autores concluíram que a trama dúctil de alta temperatura desenvolvida nas rochas do embasamento foi reativada diversas vezes, exercendo influência decisiva na distribuição, padrão geométrico e cinemático das estruturas posteriores, iniciadas provavelmente há cerca de 2,7 Ga (posterior ao evento dúctil principal; quando da implantação da Bacia de Carajás, Pinheiro & Holdsworth, 2000). Nessa região, a maioria das rochas metavulcânicas e metassedimentares de cobertura estaria preservada em zonas de subsidência (*dilational jogs*), trechos anastomosados ou em *offsets*, ao longo dos feixes de lineamentos que formam os Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento (Pinheiro & Holdsworth, 2000). Muitas falhas são posteriores à deposição dessas seqüências, fazendo com que a estratigrafia seja controlada por elas. Esse contexto sugere a existência de um mecanismo de enfraquecimento crustal, em escala litosférica, com um

período de atividade finito, mais ativo entre 2,8 - 1,8 Ga, originado possivelmente na crosta inferior ou no manto (Pinheiro & Holdsworth, 1997, 2000). Segundo esses autores, a evolução tectônica da região de Carajás seria marcada por transpressão sinistral dúctil de alta temperatura (> 2,8 Ga), transpressão sinistral rúptil-dúctil de baixa temperatura (2,8 - 2,7 Ga), transtensão dextral rúptil (2,5 - 2,6 Ga), transpressão sinistral rúptil ao longo da falha Carajás (> 1,9 Ga) e, finalmente, transtensão/extensão (1,8 - 1,0 Ga).

GEOLOGIA DO DEPÓSITO GAMELEIRA

As rochas do Grupo Igarapé Pojuca (Fig. 2) são representadas por uma seqüência metavulcano-sedimentar constituindo uma faixa estreita e alongada, balizada ao norte por rochas do Complexo Xingu e/ou Granito Deformado Itacaiúnas e, ao sul, recoberta por rochas metassedimentares da Formação Águas Claras. A seqüência possui uma foliação NW marcante, subverticalizada e, na área da principal anomalia geoquímica/geofísica, há a interseção de uma linha de sutura regional EW, com falhas de direção NE, gerando zonas de distensão (Docegeo, 1998). Todas as rochas são cortadas por vênulas, veios, brechas hidrotermais e níveis graníticos, às vezes pegmatóides, portadores de impor-

tantes conteúdos de Cu, Au, Mo e F (Docegeo, 1993). Um anfibolito da Formação Corpo Quatro indicou uma idade U-Pb em zircão de 2732 ± 2 Ma (Machado *et al.*, 1991).

No depósito Gameleira, o Grupo Igarapé Pojuca é constituído principalmente por rochas metavulcânicas máficas a intermediárias (RMV; basaltos, andesitos e vulcanoclásticas), anfibolitos, biotita xistos, rochas sedimentares clásticas e químicas (formações ferríferas das facies sulfetada e facies óxido, e “silexitos”) e/ou hidrotermalitos (Lindenmayer *et al.*, 2001a). São intrudidas por rochas máficas (RIM) arqueanas e por apófises quartzo-feldspáticas, provavelmente associadas a um magmatismo félsico proterozóico, e mineralizadas a calcopirita e molibdenita, com fluorita e turmalina. Essas rochas estão metamorfisadas regionalmente na facies xisto-verde a

anfibolito, com metamorfismo termal localizado e um acentuado hidrotermalismo, afetando indistintamente todas as rochas (Docegeo, 1998).

Lindenmayer *et al.* (2001b) indicaram a existência, em profundidade, de duas intrusões graníticas (sienito e leucogranito, Ely *et al.*, 2001), na área do depósito Gameleira. O leucogranito indicou uma idade de 1,58 Ga (U-Pb em zircão, SHRIMP, Lindenmayer *et al.*, 2001c; Pimentel *et al.*, 2002), e o outro, ainda não datado, é relacionado aos granitóides paleoproterozóicos, colocados há 1,8 Ga (Lindenmayer *et al.*, 2001b). Junto ao depósito de Cu-Zn do Pojuca, localizado a aproximadamente 5 km a NW do depósito Gameleira, aflora o Granito Pojuca (1874 ± 4 Ma, Machado *et al.*, 1991) e o Granito Deformado Itacaiúnas (2560 ± 37 Ma; Pb-Pb em zircão; Souza *et al.*, 1996).

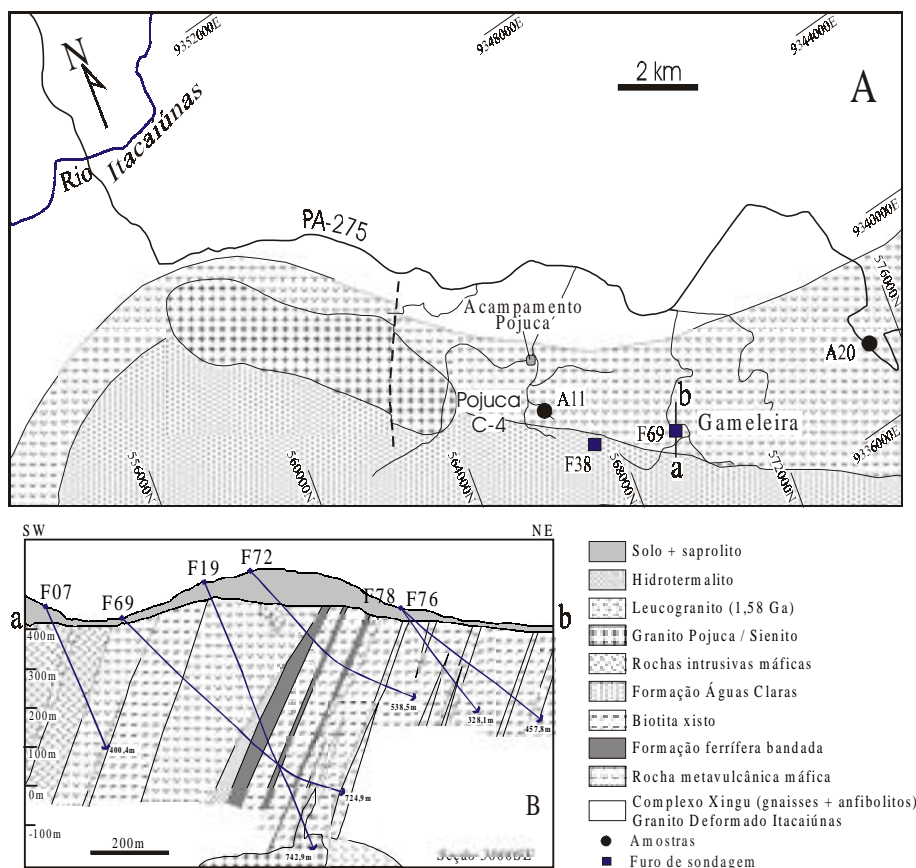


Figura 2. Mapa geológico modificado de Macambira *et al.* (1990) e seção geológica vertical do depósito de Cu-Au Gameleira, mostrando as principais unidades litoestratigráficas e os furos de sondagem (modificado de Docegeo, 1997 e Lindenmayer *et al.*, 2001b).

GEOLOGIA ISOTÓPICA

Serão apresentados e discutidos os resultados das análises isotópicas realizadas nas rochas encaixantes do depósito Gameleira. Esse estudo foi realizado no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Centro de Geociências da UFPA pelos métodos de evaporação de Pb em monocristais de zircão, Pb-Pb e Sm-Nd (rocha total) e Pb-Pb em calcopirita (dissolução total e lixiviados). O objetivo principal foi definir a idade de cristalização das rochas encaixantes, de formação da mineralização e de eventos posteriores que as afetaram, verificar a contemporaneidade dessas rochas com as do Grupo Grão Pará e com outras vulcânicas das vizinhanças, e obter informações sobre a formação e evolução da crosta continental da região.

Métodos e Técnicas Analíticas

Preparação das Amostras

Uma amostra de saprolito coletada na área de domínio do Grupo Igarapé Pojua e uma amostra de RIM fresca foram selecionadas para análise geocronológica pelo método Pb-Pb por evaporação em zircão. Após trituração, pulverização e peneiramento de cerca de 80 kg de amostra, os cristais de zircão provenientes de frações granulométricas entre 0,088 mm e 0,250 mm foram separados com auxílio de elutriação, separador magnético Isodynamic Frantz e líquidos pesados. Os cristais de zircão escolhidos nessa fase foram lavados a quente com HNO₃ (50%), para a eliminação de crosta ferruginosa, em seguida, triados manualmente sob uma lupa binocular. Os cristais selecionados foram preferencialmente aqueles sem evidências de metamitização, sem inclusões ou fraturas, porém, em caso de baixo número, foram analisados alguns cristais apresentando essas características. Os cristais selecionados foram analisados em um espectrômetro de massa Finnigan MAT 262 com multicoletor. Essa metodologia segue as adaptações desenvolvidas a partir de Kober (1987), e o tratamento dos dados, como apresentados por Gaudette *et al.* (1998).

As amostras de RMV e RIM selecionadas para análise pelos métodos Pb-Pb e Sm-Nd em rocha total foram previamente selecionadas com base nos estudos petrográficos e análises químicas. Na maioria das vezes, uma amostra de mão sem indícios de intemperismo, fraturamento e

hidrotermalismo foi suficiente para aplicação dessas metodologias. As amostras de calcopirita selecionadas foram trituradas (80 - 100 mesh), após triagem sob lupa e lavagem com HCl (6N). O procedimento experimental para as análises de Pb seguiu as técnicas desenvolvidas por Rodrigues (1992), com modificações a partir de Krogh (1973) e Manhès (1982) e, para Sm e Nd, seguiu as técnicas utilizadas por Moura (1992), adaptado às condições do Pará-Iso. As análises isotópicas de Pb foram realizadas em um espectrômetro de massa VG Isomass 54E com monocoletor e Sm e Nd em um Finnigan MAT 262 com multicoletor. As composições isotópicas de Pb foram corrigidas do efeito de discriminação de massa utilizando um fator de $0,12 \pm 0,03$ % por u.m.a. Os cálculos de regressão e idade foram feitos segundo o algoritmo de York (1969) e Ludwig (1980) com base no programa Isoplot (v.2.70) de Ludwig (1993).

Pb-Pb (evaporação de zircão)

Essa técnica posiciona frente a frente dois filamentos de rênio, sendo um de evaporação em forma de canoa, onde o cristal de zircão é aprisionado, e um de ionização, a partir do qual o Pb é analisado (Kober, 1987). Geralmente, são realizadas três etapas de evaporação ou aquecimento (EV) a 1450°C, 1500°C e 1550°C, com intervalos de tempo de 3 a 5 minutos de evaporação para cada etapa. O Pb evaporado deposita-se imediatamente no filamento de ionização, o qual é mantido a temperatura ambiente. Dependendo da quantidade de Pb que o cristal contém e de sua capacidade em se fixar no filamento de ionização, pode-se realizar até cinco ou mais EV. Passado o tempo de evaporação, o filamento é desligado e o filamento de ionização é aquecido a uma temperatura em torno de 1050°C, e o Pb ali depositado é ionizado. Em cada EV são obtidos, em geral, até 5 (análise em monocoletor) ou 10 (análise multicoletor) blocos de dados. A partir das médias das razões ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb dos blocos define-se uma idade para cada EV. Esses resultados são representados num diagrama Idade (Ma) versus Etapas de aquecimento, onde cada etapa fornece, em geral, uma idade. Em geral, são consideradas as idades obtidas nas etapas de mais alta temperatura que são as mais representativas da idade de cristalização do mineral, eliminando-se as etapas de mais baixa temperatura. Os resultados são apresentados com desvios a 2σ e as correções do Pb comum são feitas mediante uso do modelo do Pb em estágio duplo proposto por Stacey & Kramers (1975), utilizando a razão ²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb.

Pb-Pb (dissolução total)

A abertura química da rocha (50 - 130 mg) foi feita com HF (48%) + HNO₃ (13N) + HBr (8N) enquanto que a calcopirita (< 50 mg) foi aberta com HCl (6N) + HNO₃ (13N) + HBr (8N). O resíduo da amostra foi solubilizado com HBr (0,7N) e submetido à separação por cromatografia de resina de troca iônica Dowex AG 1 x 8, 200 - 400 mesh, condicionada com HBr (0,7N). O Pb foi coletado com HCl (6N) e concentrado com HNO₃ (7,5N). O concentrado final foi depositado em filamento simples de rênio para análise. O branco de Pb do processo analítico calculado com o auxílio do padrão NBS-983 variou entre 0,33 e 1,50 ng durante o período das análises isotópicas.

Pb-Pb (lixiviação de calcopirita)

A técnica de lixiviação de Pb foi aquela empregada no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) da Universidade de São Paulo. O procedimento utilizado foi modificado de Frei & Kamber (1995) e Bjarlykke *et al.* (1990) e adaptado às condições do Pará-Iso conforme indicado na Tabela 1. Ela utiliza aproximadamente 400 mg de amostra dissolvidos parcialmente para produzir soluções sobrenadantes, que são coletadas em 4 etapas de lixiviação (L1 a L4) e em uma etapa de dissolução total do resíduo remanescente (L5). A separação cromatográfica, coleta e deposição em filamento do Pb, são as mesmas indicadas no método anterior. O branco de Pb variou entre 0,67 e 1,30 ng.

Sm-Nd (dissolução total)

A abertura química da rocha (150 mg) + spike (¹⁴⁹Sm-¹⁵⁰Nd) foi feita com HNO₃ (13N) + HF (48%) em container fechado por 7 dias em estufa (150°C), seguido da adição de HNO₃ (13N) + HF (48%) na chapa (100°C) mais duas etapas de evaporação com HCl (6,2N) e HCl (2N). A solução foi solubilizada com HCl (2N) e submetida à separação por cromatografia de resina de troca iônica Dowex AG 1x8, 200 - 400 mesh, condicionada com HCl (2N). Os Elementos Terras Raras foram coletados com HNO₃ (3N). Essa solução foi solubilizada com HNO₃ (7N) + metanol (40 - 60%) e submetida à separação por cromatografia de resina de troca iônica Dowex AG 1 x 4, 200 - 400 mesh, condicionada com HNO₃ (7N) + metanol. O Sm e o Nd foram coletados com HNO₃ (7N) + metanol e purificados com HNO₃ (13N). O concentrado final foi depositado em filamento duplo de Ta e Re para análise. Durante o período das análises isotópicas, o standard de Nd La Jolla forneceu valores de ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd de 0,511854 ± 0,000010 (2σ, média de 3 análises) e os brancos totais para Nd e Sm foram inferiores a 170 pg. As razões ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd foram normalizadas para ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0,7219.

Resultados Pb-Pb (evaporação de zircão)

Na tentativa de datar as encaixantes do depósito Gameleira e na impossibilidade de se obter amostras de testemunho, volumosas o suficiente para extração de

Tabela 1. Abertura química aplicada em amostras lixiviadas de calcopirita do depósito Gameleira.

Lixiviados	Reagentes	Tempo	Temperatura
L1	4 mL Mistura Forte*	15 minutos	~ 110°C
L2	4 mL HBr (4,5N)	4 horas	~ 110°C
L3	4 mL HCl (6N)	12 horas	~ 110°C
L4	4 mL HCl (concentrado)	6 horas	~ 110°C
L5	4 mL água régia (50%)	24 horas	~ 110°C

* Mistura Forte = 12 HBr (1,5N) : 1 HCl (2N)

zircão, optou-se em buscar amostras em afloramento. O avançado grau de intemperismo das rochas dificultou em demasia essa tarefa e a identificação do tipo amostrado. A amostra A20 coletada na estrada Gameleira - N1 (Fig. 2), em área de domínio do Grupo Igarapé Pojuca, é uma rocha saprolitizada, ferruginosa, de granulação fina, apresentando localmente nódulos anastomosados de material marrom esbranquiçado e foliação difusa. É composta principalmente por óxidos de ferro, plagioclásio totalmente alterado \pm clorita e raros cristais euédricos de turmalina. Essa rocha é cortada por vênulas de quartzo, plagioclásio, óxidos de ferro e sulfeto e sua textura está totalmente obliterada pela alteração intempérica.

Foi selecionado um conjunto de 26 cristais de zircão da amostra A20 que apresentam uma coloração que varia de castanho-claro a quase avermelhado. São cristais transparentes a translúcidos com brilho adamantino, com forma arredondada a prismática e bordas corroídas. Apresentam variadas proporções comprimento-largura, e quase todos os cristais estão microfraturados e contêm inclusões escuras. Alguns deles mostram-se quebrados em uma extremidade. Para a análise pelo método de evaporação foram escolhidos 21 cristais, sendo que todos eles emitiram Pb suficiente para análise isotópica, com a exceção dos cristais 1, 5, 7, 12, 17 e 18 (Tabela 2). Os cristais 2, 6, 10, 11, 14, 21 e 23 foram eliminados do cálculo por apresentarem idades abaixo da média dos demais cristais ou razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ superiores a 0,0004. A partir dos resultados, determinou-se 2 grupos de idade bem definidos nas etapas de mais alta temperatura que, lançadas num diagrama Idade [Ma] vs. Etapas de aquecimento, indicaram os seguintes valores médios:

1º Grupo (cristais 8, 9, 13, 15 e 16): 2615 ± 10 Ma (2σ), Fig. 3A.

2º Grupo (cristais 3, 4 e 22): 2683 ± 7 Ma (2σ), Fig. 3B.

A amostra A11 (quartzo diorito, Fig. 2) é uma rocha fresca, não deformada, de granulação média a grossa constituída principalmente por plagioclásio alterado, piroxênio reliquiar, anfibólio, quartzo e biotita. Um conjunto de 10 cristais de zircão de RIM foi selecionado para análise pelo método Pb-Pb em zircão. Os cristais apresentam uma coloração castanha escura, aspecto metamítico com partes transparentes, hábito prismático a arredondado e proporção entre as dimensões de 1,5 : 1. São automórficos, com a superfície um pouco irregular e bordas corroídas. Todos se apresentam levemente microfraturados, com inclusões escuras e alguns se encontram quebrados numa extremidade. Para o cálculo da idade foram eleitos 5 grãos, os

menos metamíticos, sendo que todos eles emitiram Pb suficiente para análise isotópica. Eliminou-se apenas as etapas de mais baixa temperatura e desprezou-se aquelas com razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ superiores a 0,0004 (Tabela 2). Entretanto, após essa filtragem, somente o cristal 9 (Fig. 3C) forneceu resultado analítico que pudesse ser aproveitado para o cálculo da idade que foi de 2705 ± 2 Ma (2σ).

Resultados Pb-Pb (dissolução total e lixiviados)

A fim de tentar definir a idade da rocha e discutir a natureza da sua fonte foram selecionadas 5 amostras de RMV para análise isotópica. As amostras foram coletadas dos diferentes furos do depósito Gameleira e apresentam-se radiogênicas com razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 20,83 e 34,77 e $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 16,05 e 18,03; enquanto que a razão $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ varia de 41,27 a 56,22 (Tabela 3). Os dados obtidos foram lançados no diagrama uranogênico $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ fornecendo uma idade 2245 ± 29 Ma (2σ) com MSWD = 0,93 (Fig. 4A).

Aplicou-se também a metodologia Pb-Pb com dissolução total em 9 amostras de calcopirita, previamente selecionadas, com o objeto de tentar definir a idade de formação e a natureza da fonte do minério do depósito Gameleira. A calcopirita encontra-se essencialmente em veios de quartzo com turmalina e fluorita associadas que cortam aleatoriamente a RMV e foi coletada dos diferentes furos de sondagem. As amostras analisadas apresentam-se bastante radiogênicas com razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ variando entre 46,60 e 537,77; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 20,60 e 97,54 e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 42,21 e 666,85 (Tabela 3). Os resultados obtidos foram lançados no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 4B) indicando uma idade de 2419 ± 12 Ma (2σ) com MSWD = 11. No diagrama $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ as amostras de calcopirita apresentam um espalhamento não colinear sugerindo perturbação no sistema isotópico do Pb o que reduz a confiabilidade sobre a razão Th/U calculada ($0,04 \pm 0,33$).

A técnica de lixiviação de Pb foi aplicada em 2 concentrados de calcopirita (S20 e S30) coletados dos veios que cortam a RMV, selecionados através das análises isotópicas Pb-Pb com dissolução total e estudos minerográficos. O objetivo da aplicação dessa metodologia foi determinar a idade de possíveis eventos que possam ter perturbado o sistema Pb-Pb do minério do depósito Gameleira e de se determinar a composição isotópica inicial do Pb. As análises dos lixiviados de calcopirita da amostra S30 (Tabela 3)

Tabela 2. Resultados analíticos Pb-Pb dos cristais de zircão das amostras A20 (saprolito) e A11 (RIM).

Rocha (Amostra)	Zircão	Razões utilizadas	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ $\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ $\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ $\pm 2\sigma$	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$ $\pm 2\sigma$	Idade $\pm 2\sigma$ [Ma]
SAP (A20)	SAP/8	84	0,000007 \pm 8	0,10103 \pm 27	0,17640 \pm 41	0,17623 \pm 33	2618 \pm 3
	SAP/9	86	0,000028 \pm 2	0,11781 \pm 35	0,17765 \pm 26	0,17731 \pm 26	2628 \pm 2
	SAP/13	66	0,000046 \pm 10	0,07916 \pm 153	0,17672 \pm 34	0,17613 \pm 37	2617 \pm 3
	SAP/15	86	0,000069 \pm 6	0,11684 \pm 74	0,17539 \pm 38	0,17448 \pm 29	2601 \pm 3
	SAP/16	82	0,000010 \pm 3	0,05904 \pm 27	0,17508 \pm 30	0,17496 \pm 29	2606 \pm 3
	Total =	404				Idade média =	2615\pm10
RIM (A11)	SAP/3	86	0,000001 \pm 2	0,06968 \pm 21	0,18283 \pm 33	0,18282 \pm 33	2679 \pm 3
	SAP/4	90	0,000012 \pm 1	0,07931 \pm 24	0,18389 \pm 23	0,18375 \pm 23	2687 \pm 2
	SAP/22	86	0,000009 \pm 6	0,04867 \pm 23	0,18248 \pm 37	0,18241 \pm 38	2675 \pm 3
	Total =	262				Idade média =	2683\pm7
	RIM/9	90	0,000045 \pm 8	0,19561 \pm 444	0,18635 \pm 27	0,18577 \pm 26	2705 \pm 2
	Total =	90				Idade =	2705\pm2

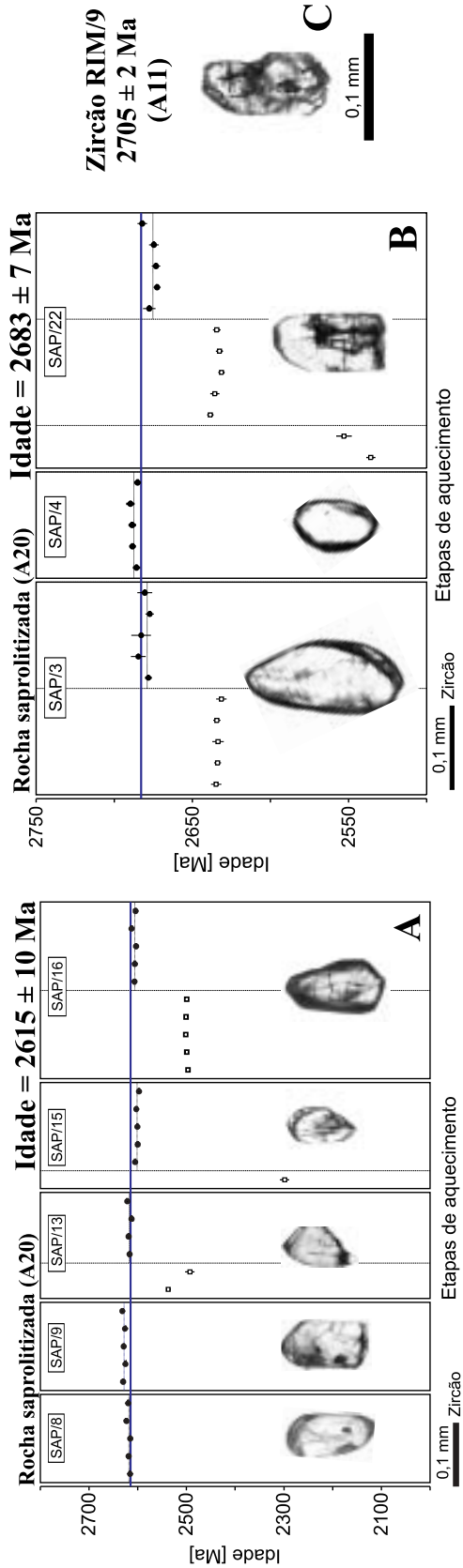


Figura 3. Idades de cristais de zircão do depósito Gameleira. **A e B** - diagramas Idade (Y) vs. etapas de evaporação (X) dos cristais de zircão da amostra A20 (saprolito). • = bloco de razões isotópicas utilizadas para cálculo da idade; • = bloco eliminado subjetivamente. Desvio analítico = 2σ . **C** - cristal de zircão da amostra A11 (RIM).

apresentam razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ variando entre 56,31 e 187,92; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 22,09 e 40,40 e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 52,80 e 55,97. Os pontos analíticos desses lixiviados foram lançados no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 4C), fornecendo uma idade de 2217 ± 19 Ma (2σ) e MSWD = 10,6.

As análises dos lixiviados de calcopirita da amostra S20 (Tabela 3) apresentam razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ variando entre 61,11 e 232,43; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 22,73 e 46,12 e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ entre 49,42 e 56,68, e forneceram uma idade de 2180 ± 84 Ma (2σ) com MSWD = 107 (Fig. 4D). Nos diagramas toriogênicos (não apresentados) os diversos lixiviados das duas amostras (S20 e S30) apresentam espalhamento não colinear, sugerindo perturbação do sistema isotópico do Pb. Os altos valores do MSWD devem-se aos baixos desvios analíticos e ao fato das amostras serem bastante radiogênicas.

Resultados Sm-Nd

A sistemática Sm-Nd foi aplicada em 3 amostras de RMV e em duas de RIM do depósito Gameleira (Tabela 4)

para determinar as idades-modelo (T_{DM}) das rochas do depósito Gameleira visando caracterizar o tempo de extração do manto dessas rochas. As idades-modelo T_{DM} e os ϵ_{Nd} foram calculadas usando a curva de evolução do manto empobrecido proposta por DePaolo (1981) (Fig. 5).

Rocha Metavulcânica Máfica

As idades-modelo (T_{DM}) calculadas através da equação de DePaolo (1981) para essas rochas situam-se no intervalo de tempo entre 3,12 e 3,23 Ga. Os valores de ϵ_{Nd} foram calculados com a idade de 2757 ± 81 Ma (1σ), Sm-Nd em rocha total (Pimentel *et al.*, 2002) considerada a mais coerente com a época de formação das RMV do depósito Gameleira-Pojuca. Os valores de ϵ_{Nd} variam entre -0,89 e -2,20 (Tabela 4) sugerindo uma contribuição crustal fraca, uma vez que esses valores são muito próximos de zero, e confirmando que o intervalo de tempo decorrido entre a época de diferenciação do manto e a cristalização das RMV foi muito curto. Comparando esses valores com aqueles do modelo de evolução manto-crosta proposto por DePaolo (1988) sugere-se possivelmente um ambiente

Amostra	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	1σ
A5	20,830	0,013	16,052	0,015	41,266	0,050
A4	22,043	0,016	16,250	0,016	40,571	0,053
A32	22,762	0,014	16,329	0,015	43,315	0,053
A6	27,884	0,025	17,072	0,019	48,583	0,070
A31	34,769	0,023	18,030	0,017	56,223	0,069
S28	46,60	0,100	21,135	0,105	50,630	0,100
S21	46,93	0,040	20,604	0,022	54,290	0,080
S29	55,40	0,120	21,898	0,063	43,950	0,100
S30	61,04	0,038	22,781	0,021	56,860	0,068
S34	215,66	0,690	47,283	0,155	42,210	0,140
S20	230,66	0,700	49,485	0,155	58,120	0,180
S36	240,31	2,090	50,939	0,446	76,120	0,670
S27	249,67	0,500	52,674	0,114	84,580	0,240
S25	537,77	0,580	97,542	0,125	666,850	1,130
S30-L5	56,309	0,037	22,098	0,024	54,909	0,067
S30-L1	58,429	0,036	22,339	0,020	55,586	0,067
S30-L4	59,048	0,050	22,543	0,024	55,956	0,074
S30-L2	59,603	0,037	22,502	0,021	55,970	0,068
S30-L3	187,922	0,129	40,405	0,039	52,800	0,067
S20-L3	61,114	0,037	22,733	0,021	56,675	0,068
S20-L5	140,945	0,130	34,090	0,039	49,419	0,066
S20-L4	157,350	0,330	36,371	0,080	50,995	0,117
S20-L2	220,825	0,277	44,631	0,064	54,750	0,089
S20-L1	232,430	0,170	46,124	0,047	55,658	0,070

Tabela 3. Razões isotópicas de Pb de amostras de RMV (A) e de calcopirita (S) do depósito Gameleira.

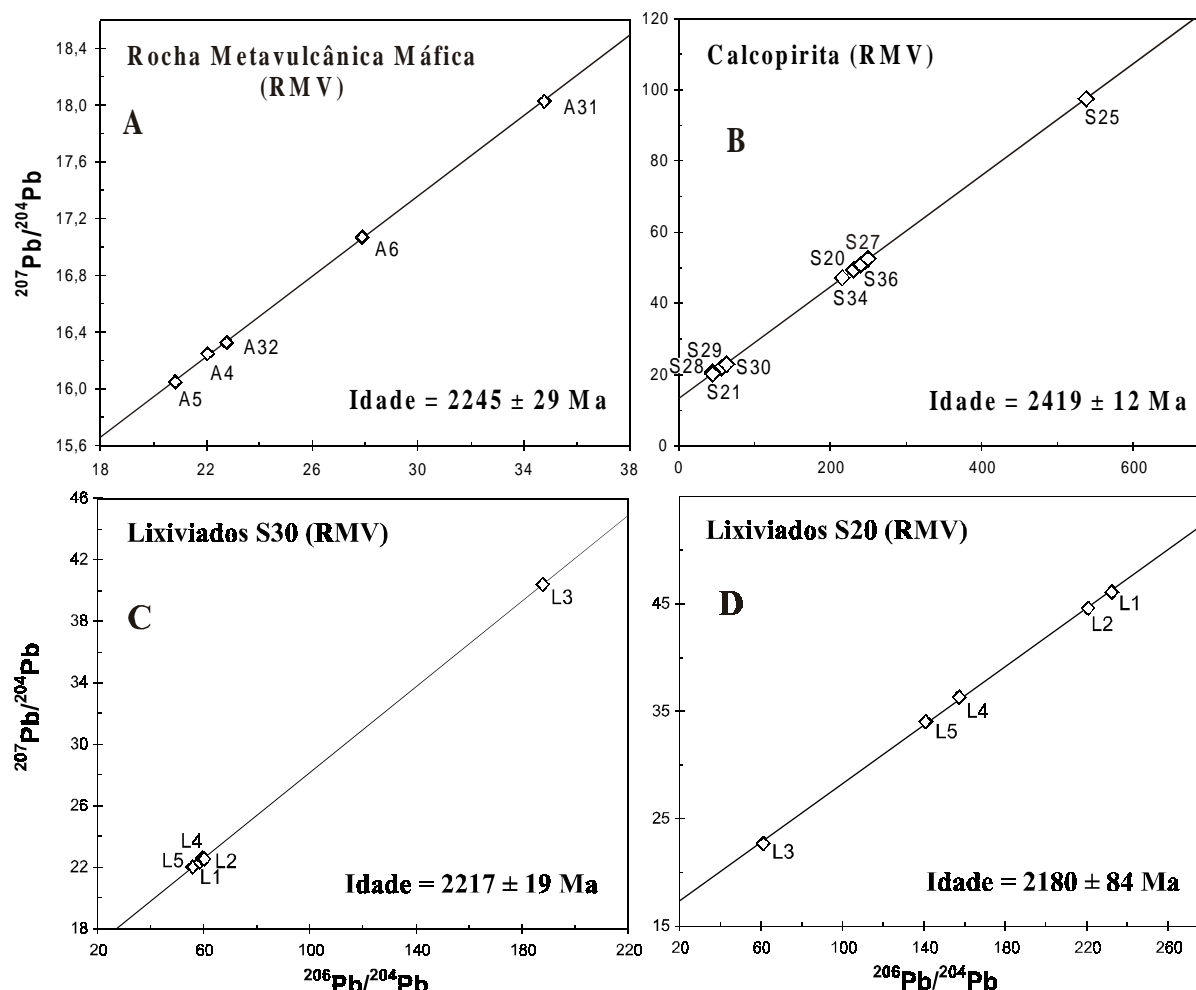


Figura 4. Diagramas Pb-Pb para as RMV e calcopirita do depósito Gameleira. A - RMV, B - calcopirita na RMV, C - lixiviados da amostra S30, D - lixiviados da amostra S20. Erro analítico = 2σ .

de rifte continental ou de margem continental ativa para as RMV do depósito Gameleira.

Rocha Intrusiva Máfica

As amostras de RIM forneceram idades-modelo T_{DM} variando de 3,17 e 3,33 Ga e os valores de ϵ_{Nd} calculados para a época de sua formação (2705 ± 2 Ga, Pb-Pb em zircão foram de $-1,42$ e $-3,26$ (Tabela 4), sugerindo contribuição crustal em seu magma. Esses valores, segundo o modelo manto-crosta (DePaolo, 1988), indicam também um ambiente de rifte continental ou de margem continental ativa,

similar ao proposto para as RMV. No diagrama ϵ_{Nd} vs. Idade (Ga) (Fig. 5), pode-se observar que as RIM e as RMV possivelmente evoluíram a partir de uma mesma fonte magmática.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os únicos dados geocronológicos publicados sobre as encaixantes do depósito Gameleira, o Grupo Igarapé Pojuca, são os de Machado *et al.* (1991), que apresentaram uma única análise U-Pb em zircão (2732 ± 3 Ma), inter-

Tabela 4. Resultados isotópicos Sm-Nd e parâmetros derivados para as rochas do depósito Gameleira.

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($\pm 2\sigma$)	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	ϵ_{Nd} (idade)	T_{DM} (Ga)	$T_{\text{DM}2}$ (Ga)
Rocha Metavulcânica Máfica: 2757 Ma, idade Sm-Nd em rocha total								
A31	7,19	32,64	0,133170	0,511370 (9)	-24,73	-2,20	3,23	3,08
A5	2,01	8,84	0,137220	0,511483 (24)	-22,53	-1,42	3,17	3,03
A6	2,52	10,93	0,139050	0,511544 (14)	-21,34	-0,89	3,12	2,99
Rocha Intrusiva Máfica: 2705 Ma, idade Pb-Pb em zircão								
A33	7,12	31,35	0,137360	0,511413 (12)	-23,90	-3,26	3,33	3,12
A11	1,60	6,68	0,144730	0,511638 (20)	-19,51	-1,42	3,17	2,99

$T_{\text{DM}2}$ = dados calculados com modelo em estágio duplo

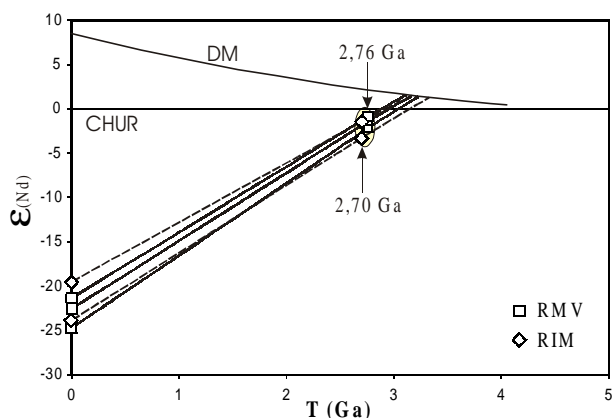


Figura 5. Diagrama ϵ_{Nd} vs. Idade (Ga) mostrando as composições isotópicas de Nd das RMV e RIM do depósito Gameleira. Curvas de evolução do manto empobrecido, DM (DePaolo, 1981) e Reservatório Condritico Uniforme, CHUR (DePaolo & Wasserburg, 1976). Notar que as composições das RIM superpõem-se às das RMV em cerca de 2,76 Ga.

pretada como datando o metamorfismo que afetou essas rochas, e os de Pimentel *et al.* (2002), que indicaram idades de 2719 ± 80 Ma e 2757 ± 81 Ma (1σ) pelo método Sm-Nd. A comparação do Grupo Pojuca com os grupos Igarapé Bahia (2,75 Ga; Galarza & Macambira, 2002) e Grão Pará (2,76 Ga; Machado *et al.*, 1991) com base em dados estratigráficos e geoquímicos (p. ex. Docegeo, 1988; Olszewski *et al.*, 1989; Galarza, 2002) reforça a correlação entre eles. No caso do Igarapé Bahia, a mineralização de Cu-Au parece ter sido contemporânea (Galarza, 2002; Galarza *et al.*, submetido).

Apesar de terem sido extraídos de um saprolito, os cristais de zircão da amostra A20 coletada em área de domínio do Grupo Igarapé Pojuca, estão relativamente bem

preservados e suas análises se mostraram reprodutíveis, permitindo a separação de dois grupos distintos de idade (médias de 2615 ± 10 Ma e 2683 ± 7 Ma). Em função da dificuldade em identificar a rocha que deu origem ao saprolito A20, a interpretação preliminar é que seus cristais de zircão datem rochas ígneas mais jovens que as do Grupo Igarapé Pojuca. O fato de se ter cristais de dois conjuntos de idade pode ser interpretado como indicando a presença de zircão herdado ou parcialmente rejuvenescido, por exemplo, pelo metamorfismo/hidrotermalismo que afetou essa rocha. De qualquer forma, a maior idade (2683 ± 7 Ma) é similar àquelas obtidas em zircão de sills de gabros do vizinho depósito Águas Claras (2645 ± 12 Ma, Dias *et al.*, 1996; 2708 ± 37 Ma, Mougeot *et al.*, 1996)

(Fig. 1), o que suporta a hipótese de que os cristais da amostra A20 provieram de uma rocha contemporânea, talvez de mesma natureza.

Quanto à idade Pb-Pb em zircão obtida para a amostra de RIM de 2705 ± 2 Ma, essa é interpretada como sua idade de cristalização. Idade similar, considerando os desvios, foi obtida para os *sills* gabróicos do depósito Águas Claras como visto anteriormente, demonstrando a contemporaneidade dessas rochas.

A mineralização sulfetada com Au do depósito Gameleira encontra-se principalmente em veios/vênulas de quartzo, sendo composta de calcopirita, bornita, turmalina, fluorita, pirrotita, molibdenita, biotita, clorita e cubanita (Galarza, 2002). Uraninita, allanita e apatita também estão presentes nas clivagens da biotita verde (Fleck & Lindenmayer, 2001). Segundo Lindenmayer *et al.* (2001b, c), o depósito de Cu-Au do Gameleira apresenta mineralização paleoproterozóica (1,8 Ga) epigenética, venular, *stratabound* e subordinadamente disseminada, hospedada numa sequência de RMV (andesítica) e subvulcânica gabróica, neoarqueana, localizada numa zona de cisalhamento. Pimentel *et al.* (2002) indicaram para os hidrotermalitos bandados (“formações ferríferas”) uma idade de 1839 ± 30 Ma (Sm-Nd em rocha total) e, para os veios mineralizados, uma idade de 1700 ± 62 Ma (Sm-Nd em biotita verde e sulfetos), relacionando sua fonte a uma intrusão sienítica paleoproterozóica (Lindenmayer *et al.*, 2001c). Souza *et al.* (1995) detectaram a influência do Granito Pojuca no Granito Deformado Itacaiúnas através da aplicação do método Rb-Sr em minerais desse último (1810 ± 57 Ma) demonstrando que o Granito Pojuca afetou o sistema isotópico de suas rochas encaixantes. O hidrotermalismo provocado por esse granito tem sido demonstrado por vários autores (Medeiros & Villas, 1985; Winter, 1994; Souza *et al.*, 1995; Villas, 1998).

Quanto aos eventos metamórfico-deformacionais que afetaram a região de Carajás, Machado *et al.* (1991) propuseram dois, ocorridos em 2,74 - 2,73 Ga e 2,58 - 2,50 Ga. No caso da área Pojuca-Gameleira, os granitos Deformado Itacaiúnas (2,56 Ga) e Pojuca (1,87 Ga) podem ser tomados como referência para estabelecer um intervalo de idade para esses eventos, uma vez que somente o primeiro corpo apresenta sinais de ter sido afetado por um evento deformacional. Portanto, pode-se concluir que o último evento que afetou a região se deu no intervalo entre 2,56 e 1,87 Ga, em concordância com o segundo evento deformacional proposto por Machado *et al.* (1991). Segundo esses autores, esse evento estaria provavelmente associado com a reativação dos sistemas transcorrentes sinistrais, hoje denominado Carajás e Cinzento (Pinheiro

& Holdsworth, 1997).

Assim, com base na discussão acima pode-se interpretar a idade obtida para a calcopirita hospedada nos veios que cortam a RMV de 2419 ± 12 Ma como a idade mínima de formação do minério primário do depósito Gameleira. Essa idade é correlata, dentro dos desvios, com as idades Pb-Pb (sulfetos) de 2358 ± 84 Ma do minério do depósito Águas Claras (Silva *et al.*, 2001) e com as idades Pb-Pb (lixiviados de calcopirita) de 2385 ± 122 Ma e 2417 ± 120 Ma do minério do depósito Igarapé Bahia (Galarza, 2002). Da mesma forma, é similar às idades Sm-Nd (minerais) de 2426 ± 13 Ma para xistos e Pb-Pb (lixiviados de turmalina) de 2450 Ma de turmalinitos associados a quartzitos do Grupo Igarapé Salobo (Tassinari & Mellito, 2001). Elas são aqui igualmente relacionadas às reativações tectônicas associadas aos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento (Pinheiro & Holdsworth, 1997, 2001) ou às intrusões graníticas proterozóicas, que poderiam ter provocado aberturas totais ou parciais dos sistemas isotópicos estudados.

Por outro lado, as idades obtidas pelo método Pb-Pb em rocha total (2245 ± 29 Ma) e lixiviados de calcopirita (amostra S30: 2217 ± 19 Ma e amostra S20: 2180 ± 84 Ma), apesar de inferiores, podem ser interpretadas também como resultado de uma abertura do sistema isotópico, já que são intermediárias entre a idade admitida para as rochas encaixantes e a das intrusões proterozóicas do depósito Gameleira.

As idades-modelo T_{DM} obtidas para as rochas RMV e RIM do depósito em estudo distribuem-se entre 3,12 e 3,33 Ga, similares às apresentadas pelas RMV e RIM do depósito Igarapé Bahia (Galarza, 2002) e pelas rochas do embasamento, metavulcânicas e granitóides da PMC (3,16 a 2,92 Ga; Olszewski *et al.*, 1989; Sato & Tassinari, 1997). As idades-modelo T_{DM} calculadas com o modelo em estágio duplo (Sato & Tassinari, 1997), indicadas na Tabela 4, mostram valores também bastante similares. Esses dados confirmam um importante período de formação de crosta no Arqueano, como já fora proposto por Sato & Tassinari (1997) para a região da Serra dos Carajás (3,1 - 2,8 Ga), bem como por Macambira & Lancelot (1996), Dall’Agnol *et al.* (1999) e Souza *et al.* (2001) para a região de Rio Maria (3,04 - 2,87 Ga), sul da PMC. Os valores de ϵ_{Nd} entre -0,89 e -3,26 relativos à época de formação das RMV e RIM sugerem contribuição continental no magma gerador dessas rochas.

As composições isotópicas de Pb bastante elevadas do Depósito Gameleira são indicativas de minerais enriquecidos em U e Th, que teriam como fonte principal a crosta superior, sugerindo que a mineralização sulfetada

com ouro do depósito Gameleira teve um substrato continental. Esse caráter radiogênico da mineralização foi igualmente observado no depósito de Cu-Au Igarapé Bahia (Galarza *et al.*, submetido), onde a influência de intrusões proterozóicas não foi comprovada.

Com base nas evidências disponíveis e na comparação com outros depósitos da Província de Carajás, prefere-se considerar que as intrusões proterozóicas provocaram a remobilização dos sulfetos do depósito Gameleira, com os fluidos ricos em elementos voláteis tendo um papel primordial na disposição atual das mineralizações. Não se descarta, contudo, que o Granito Deformado Itacaiúnas tenha provocado remobilizações do minério no depósito Gameleira, no Arqueano. Segundo Souza (1996), tanto o Granito Deformado Itacaiúnas como o Granito Pojuca, gerados a partir de magmas bastante evoluídos, ricos em fluidos, teriam sido fundamentais na formação das mineralizações de Au, Mo e Ag no depósito Pojuca. Os fluidos enriquecidos em U, Th, ETR etc, provenientes das intrusões graníticas certamente afetaram os sistemas das rochas e mineralizações, mascarando ou rejuvenescendo totalmente seus registros isotópicos originais.

Com base nos dados aqui apresentados e referidos na literatura, a evolução geológica da região que envolve o depósito Gameleira pode ser sumariada como segue:

a. 3,33 a 2,85 Ga – Diferenciação manto-crosta e formação do embasamento tonalítico-gnáissico (Complexos Xingu e Pium);

b. 2,76 a 2,6 Ga – Episódios vulcânicos com a deposição dos grupos Grão Pará, Igarapé Bahia, Igarapé Salobo e Igarapé Pojuca, afetados logo em seguida por metamorfismo e/ou hidrotermalismo de intensidade variável e desenvolvimento da mineralização primária de Cu-Au. Não está claro se a deposição desses grupos se deu em um ambiente continental (distensivo) ou de margem continental ativa. Imediatamente, após o vulcanismo, ocorreu a deposição das seqüências sedimentares da Formação Águas Claras e a instalação dos diques máficos. Colocação do Complexo máfico-ultramáfico Luanga e dos granitos arqueanos (p. ex. Estrela, Planalto, Serra do Rabo);

c. 2,6 a 2,0 Ga – Reativação tectônica associada aos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento e instalação dos corpos graníticos Old Salobo e Deformado Itacaiúnas (2,57 Ga) e remobilizações das mineralizações primárias de Cu-Au. Com a progressão dos movimentos transcorrentes, houve a inversão nos eixos transtensivos para compressivos, bem como da própria bacia Carajás;

d. 1,9 a 1,5 Ga – Movimentos distensivos na crosta

possibilitaram a intrusão de plútons graníticos e diques paleoproterozóicos associados, principais geradores dos fluidos enriquecidos em U, Th e ETR. Remobilizações das mineralizações de Cu-Au para o seu estado atual.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte da tese de doutorado do primeiro autor e contou com o apoio do CNPq através de bolsa de estudo (processo N° 141541/1998-9) e do projeto PADCT/ADIMB (convênio 88.98.0426-00). Agradecimentos à Rio Doce Geologia e Mineração S.A. (Docegeo – CVRD) por permitir o acesso ao campo e aos testemunhos de sondagem do depósito Gameleira, em especial aos geólogos Antônio Benvindo Santos, Carlos Augusto Medeiros e Oswaldo Belo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, O. J. B.; MAIA, R.; JORGE JOÃO, X. S.; COSTA, J. B. S. (1988) A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGRESO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA., 7., Belém, 1988. *Anais*. Belém, DNPM. p. 324-333.
- AVELAR, V. G.; LAFON, J. M.; CORREIA Jr., F. C.; MACAMBIRA, E. M. B. (1999) O magmatismo arqueano da região de Tucumã – Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 4, p. 453-460.
- BARROS, C. E. M.; MACAMBIRA, M. J. B.; BARBEY, P. (2001) Idade de zircão do complexo granítico Estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na província metalogenética de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., Belém, 2001. *Resumos Expandidos*. Belém, SBG-Núcleo Norte. (CD-ROM).
- BJORLYKKE, A.; CUMMING, G. L.; KRESTIC, O. (1990) New isotope data from davidites and sulfides in the Bidjovagge gold-copper deposit, Finnmark, Northern Norway. *Mineralogy and Petrology*, v. 43, p. 1-21.
- BLAKE, T. S.; GROVES, D. I. (1987) Continental rifting and the Archean-Proterozoic transition. *Geology*, v. 15, p. 229-232.
- COSTA, J. B. S.; ARAÚJO, O. J. B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X. S.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M.

- (1995) A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim. Museu. Paraense Emílio Goeldi*, n. 7, p. 199-235.
- DALL'AGNOL, R.; LAFON, J. M.; MACAMBIRA, M. J. B. (1994) Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, v. 50, p. 113-138.
- DALL'AGNOL, R.; RÄMÖ, O. T.; MAGALHÃES, M. S.; MACAMBIRA, M. J. B. (1999) Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, v. 46, p. 431-462.
- DARDENNE, M. A.; FERREIRA FILHO, C. F.; MEIRELLES, M. R. (1988). The role of shoshonite and calc-alkaline suites in the tectonic evolution of the Carajás District, Brazil. *Journal of South American. Earth Sciences*, v. 1, p. 363-372.
- DEPAOLO, D. J. (1981) A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, Califórnia. *Journal of Geophysical Research*, v. 86, n. B11, p. 10470-10488.
- DEPAOLO, D. J. (1988) *Neodymium isotope geochemistry: an introduction*. Berlin, Springer-Verlag. 187p.
- DEPAOLO, D. J.; WASSERBURG, G. J. (1976) Nd isotope variations and petrogenetic models. *Geophysical Research Letters*, v. 3, p. 249-252.
- DIAS, G. S.; MACAMBIRA, M. J. B.; DALL'AGNOL, R.; SOARES, A. D. V.; BARROS, C. E. M. (1996) Datação de zircões de sill de metagabro: comprovação da idade Arqueana da Formação Águas Claras, Carajás - Para. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., Belém. *Anais*. Belém, SBG-Núcleo Norte. p. 376-379.
- DOCEGEO (1988) Revisão litoestratigráfica da província mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. *Anais*. Belém, SBG. p.11-56.
- DOCEGEO (1993) Área Pojuca Leste: Relatório Técnico Interno. 24p.
- DOCEGEO (1997) Seção geológica vertical 3000SE, Projeto Gameleira. Arquivo L_3000.DWG. (Inédito).
- DOCEGEO (1998) Projeto Gameleira. Relatório Técnico Interno. 30p.
- ELY, F. M.; ALTHOFF, F. J.; LINDENMAYER, Z. G. (2001) Petrografia e geoquímica dos granitóides dos depósitos Gameleira e Pojuca, Serra dos Carajás, PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., Belém, 2001. *Resumos Expandidos*. Belém, SBG-Núcleo Norte. (CD-ROM).
- FARACO, L. M. T.; CARVALHO, A. J. M.; KLEIN, L. E. (1996) *Carta metalogenética da Província de Carajás - SE do Pará. Folha Araguaia (SB.22): nota explicativa*. Belém, CPRM/SGB. 33p.
- FLECK, A.; LINDENMAYER, Z. G. (2001) Caracterização do minério sulfetado do Alvo Gameleira, Serra dos Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., Belém, 2001. *Resumos Expandidos*. Belém, SBG-Núcleo Norte. (CD-ROM).
- FREI, R.; KAMBER, B. S. (1995) Single mineral lead dating. *Earth Planetary Science Letters*, v. 129, p. 261-268.
- GALARZA, T. M. A. (2002) *Geocronologia e geoquímica isotópica dos depósitos de Cu-Au Igarapé Bahia e Gameleira, Província Mineral de Carajás (PA), Brasil*. Belém, 214p. Tese (Doutorado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- GALARZA, M. A.; MACAMBIRA, M. J. B. (2002) Petrologia e geocronologia das rochas encaixantes do depósito de Cu-Au Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (eds.) *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG-Norte. v. 3, p. 153-168.
- GALARZA, M. A.; MACAMBIRA, M. J. B.; VILLAS, R. N. (Submetido) Age and isotopic constraints (Pb, S, C and O) on the origin of the Fe-oxide-Cu-Au-U-REE Igarapé Bahia ore deposit, Carajás Mineral Province, Pará State, Brazil. *Mineralium Deposita*
- GAUDETTE, H. E.; LAFON, J. M.; MACAMBIRA, M. J. B.; MOURA, C. A.; SCHELLER, T. (1998) Comparasion of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-Pb results: exemples from Precambrian of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, p. 351-363.
- GIBBS, A. G.; WIRTH, K. R.; HIRATA, W. K.; OLSZEWSKI, W. J. (1986) Age and composition of the Grão-Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, p. 201-211.
- HUHN, S. R. B.; SANTOS, A. B. S.; AMARAL, A. F.; LEDSHAN, E. J.; GOUVEIA, J. L.; MARTINS, L. P. B.; MONTALVÃO, R. M. G.; COSTA, V. G. (1988) O terreno "granito-greenstone" da região de Rio Maria - sul do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 35., Belém, 1988. *Anais*. Belém, SBG. v. 3, p. 1438-1452.
- HUTCHINSON, R. W. (1989) *Report on Docegeo copper projects MM1, Salobo and regional geological relations, Pará, Brazil*. 17p. (Relatório Interno Docegeo).

- KOBER, B. (1987) Single grain evaporation combined with Pb emitter bedding $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ investigations using thermal ion mass spectrometry and implications to zirconology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 96, p. 63-71.
- KROGH, T. E. (1973) A low contamination method of hydrothermal decomposition of zircon and extration of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 37, n.3, p. 485-494.
- LEITE, A. A. S. (2001) *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Belém, 330p. Tese (Doutorado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- LINDENMAYER, Z. G.; LAUX, J. H.; VIERO, A. C. (1995) O papel da alteração hidrotermal nas rochas da bacia Carajás. *Boletim. Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 7, p. 125-145.
- LINDENMAYER, Z. G.; ARAUJO, J. C.; LAUX, J. H.; GOMES, R. P.; SANTOS, A. B. S.; SAUERESSIG, R. (2000) Geology of the Gameleira Cu-Au deposit, Carajás, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., Rio de Janeiro, 2000. *Abstracts*. Rio de Janeiro. (CD-ROM).
- LINDENMAYER, Z. G.; PIMENTEL, M. M.; ALTHOFF, F. J.; TEIXEIRA, J. B. G. (2001 a). Hidrotermalitos: nova denominação para as formações ferríferas do Grupo Salobo-Pojuca, Serra dos Carajás, Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., Belém. *Resumos Expandidos*, Belém, SBG-Núcleo Norte. (CD-ROM).
- LINDENMAYER, Z. G.; PIMENTEL, M. M.; RONCHI, L. H.; LAUX, J. H.; ALTHOFF, F. J.; ARAÚJO, J. C.; FLECK, A. (2001b) Gênese e evolução geológica do depósito de Cu-Au de Gameleira, Serra dos Carajás, Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 7., Belém, 2001. *Resumos Expandidos*. Belém, SBG-Núcleo Norte. (CD-ROM).
- LINDENMAYER, Z. G.; PIMENTEL, M. M.; RONCHI, L. H.; ALTHOFF, F. J.; LAUX, J. H.; ARAÚJO, J. C.; FLECK, A.; BAECKER, C. A.; CARVALHO, D. B.; NOWATZKI, A. C. (2001c) Geológica do depósito de Cu-Au de Gameleira, Serra dos Carajás, Pará. In: JOST, H.; BROD, J. A.; QUEIROZ, E. T. (eds.). *Caracterização de depósitos auríferos em distritos mineiros brasileiros*. DNPM/ADIMB., p. 81-139.
- LUDWIG, K. R. (1980) Calculation of uncertainties of U-Pb isotope data. *Earth Planetary Sciences Letters*, v. 46, p. 212-220.
- LUDWIG, K. R. (1993) Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic isotope data, version 2.70. *Openfile Report 91445*. United States Geological Survey. 42p.
- MACAMBIRA, J. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; SCHELLER, T.; GOMES, A. C. B. (1996) Geocronologia Pb/Pb e tipologia de zircões de rochas vulcânicas da Formação Carajás - Pará: indicador da idade dos BIFs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. *Anais*. Salvador, SBG. v. 6, p. 516-518.
- MACAMBIRA, J. B.; RAMOS, J. F. F.; ASSIS, J. F. P.; FIGUEIRAS, A. J. M. (1990) *Projeto Serra Norte e Projeto Pojuca*: relatório final. Belém, Centro de Geociências /UFPA. 150p.
- MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. (1995) Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 7, p. 263-288.
- MACAMBIRA, M. J. B.; LANCELOT, J. R. (1996) Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian Cráton, Brazil. *International Geology Review*, v. 38, p. 1134-1142.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T. E.; LINDENMAYER, D. (1991) U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, v. 49, p. 329-354.
- MANHÈS, G. (1982) *Développement de l'ensemble chronométrique U-Th-Pb. Contribution à la Chronologie Initiale du Système Solaire*. Paris, 249p. Université de Paris VII. Thèse du Doctoral d'état, 249p.
- MEDEIROS, F. A. N.; VILLAS, R. N. V. (1985) Geologia da jazida de Cu-Zn do Corpo 4E Pojuca, Serra dos Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém, 1985. *Anais*. Belém, v. 3, p. 97-112.
- MOUGEOT, R.; RESPAUT, J. P.; BRIQUEU, L.; LEDRU, P.; MILESI, J. P.; MACAMBIRA, M. J. B.; HUHN, S. B. (1996) Geochronological constrains for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará, Brazil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. *Anais*, Salvador, SBG. v. 6, p. 579-581.
- MOURA, C. A. V. (1992) *Geochronology and geochemistry of the Basement orthogneisses of the Araguaia Belt, Brasil*. New Hampshire, 236p. PhD Thesis - University of New Hampshire.
- NOGUEIRA, A. C. R.; TRUNCKENBRODT, W.; PINHEIRO, R. L. V. (1995) Formação Águas Claras, Pré-cambriano da Serra dos Carajás: redescritção e redefinição

- litoestratigráfica. *Boletim Museum Paraense Emílio Goeldi*, v. 7, p. 177-197.
- OLSZEWSKI, W. J.; WIRTH, K. R.; GIBBS, A. K.; GAUDETTE, H. E. (1989) The age, origin and tectonics of the Grão Pará Group and associated rocks, Serra dos Carajás, Brazil: archean continental volcanism and rifting. *Precambrian Research*, v. 42, p. 229-254.
- PIDGEON, R. T.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. (2000) Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, v. 166, p. 159-171.
- PIMENTEL, M. M.; MACHADO, N. (1994) Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. *Anais*. Camboriú, SBG. v. 2, p. 390-391.
- PIMENTEL, M. M.; LINDENMAYER, Z. G.; LAUX, J. H.; ARMSTRONG, R.; ARAÚJO, J. C. (2002) Geochronology and Nd isotope geochemistry of the Gameleira Cu-Au deposit, Serra dos Carajás, Brazil: 1,8-1,7 Ga hydrothermal alteration and mineralization. *Journal of South American Earth Sciences* (article in press).
- PINHEIRO, R. V. L.; HOLDSWORTH, R. E. (1997). Reactivation of Archaean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. *Journal Geological Society London*, v. 154, p. 99-103.
- PINHEIRO, R. V. L.; HOLDSWORTH, R. E. (2000) Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 4, p. 597-606.
- RODRIGUES, S. E. (1992) *Implantação da metodologia Pb-Pb em rocha total: exemplos de aplicação na província mineral de carajás (PA)*. Belém, 128p. Tese (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- SAUERESSIG, C. (1988) Depósito de cobre e zinco do corpo quatro, Pojuca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém 1988. *Anais*. Belém, SBG. p. 115-119.
- SATO, K.; TASSINARI, C. C. G. (1997) Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico baseados em idade-modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. In: COSTA, M. L.; ANGÉLICA, R. S. (coords.). *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG. v. 1, p. 91-142.
- SILVA, C. M. G.; MACAMBIRA, M. J. B.; VILLAS, R. N. N. (2001) Depósito de Cu-Au de Águas Claras: Resultados Geocronológicos Pb-Pb e Rb-Sr, Serra dos Carajás, Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., Belém, 2001. *Resumos Expandidos*. Belém, SBG. (CD-ROM).
- SOUZA S. R. B. (1996) *Geocronologia e geoquímica isotópica da região do Igarapé Pojuca, Serra dos Carajás*. Belém, 106p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Pará.
- SOUZA, S. R. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; HORBE, M. A. (1995) Geochronological and isotopic evidences of the influence of the Paleoproterozoic Pojuca Granite on the Cu-Zn (Au-Mo-Ag) deposit, Carajas Province, Brazil. In: SYMPOSIUM RPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS. Belém, 1995. *Abstracts*. p. 76.
- SOUZA, S. R. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; SCHELLER, T. (1996) Novos dados geocronológicos para os granitos deformados do Rio Itacaiúnas (Serra dos Carajás, PA), implicações estratigráficas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., Belém, 1996. *Resumos Expandidos*. Belém, SBG-Núcleo Norte. p. 380-382.
- SOUZA, Z. S.; POTREL, A.; LAFON, J. M.; ALTHOFF, F. J.; PIMENTEL, M. M.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, C. G. (2001) Nd, Pb and isotopes in the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil: implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, v. 109, p. 293-315.
- STACEY, J. S.; KRAMER, J. D. (1975) Approximation of terrestrial lead isotopic evolution by a two-stage model. *Earth Planetary Sciences Letter*, v. 26, p. 207-221.
- TASSINARI, C. C. G.; MELLITO, K. (2001) Evidências Isotópicas de Sr, Pb e Nd de fontes continentais para os fluidos das mineralizações do depósito de Cu (Au-Mo-Ag) Salobo 3-A, Serra dos Carajás, Brasil. In: CONG. GEOQ. PAISES LÍNGUA PORTUGUESA 6., Portugal, 2001. *Resumos Expandidos*. p. 201-204.
- TEIXEIRA, J. B. G.; EGGLE, D. H. (1994) Petrology, Geochemistry, and Tectonic Setting of Archaean Basaltic and Dioritic Rocks from the N4 Iron Deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia*, v. 17, n. 40, p. 71-114.
- TRENDALL, A. F.; BASEI, M. A. S.; LAETER, J. R.; NELSON, D. R. (1998) SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, n. 3, p. 265-277.

- VILLAS, R. N. (1998) Granito Pojuca: fonte de elementos terras raras e de urânio do depósito Bahia, Serra dos Carajás?. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1988. *Anais*. Belo Horizonte, SBG, p. 143.
- WINTER, C. J. (1994) *Geology and base-metal mineralization associated with Archean iron-formation in the Pojuca Corpo Quatro deposit, Carajás, Brazil*. 238p. University of Southampton. PhD Thesis. 238p.
- WIRTH, K.R.; GIBBS, A. K.; OLSZEWSKI, W.J. (1986) U-Pb ages of zircons from the Grão-Pará group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 2, p. 195-200.
- YORK, D. (1969) Least-squares fitting of a straight line with correlated errors. *Earth Planetary Sciences Letters*, v. 5, p. 320-324.